

ニュージーランド、2011年クライストチャーチ地震 による建物被害と地形環境

植 村 善 博

〔抄 録〕

2011 Christchurch Earthquake (M=6.3) struck at 12:51 on 22th February and caused the severe human and architectural damage in and around Christchurch urban area. Based on field survey, the author discusses on the character of damage, and the effect of materials of building and geomorphological condition as its cause. The results are summarized as followings.

- 1) St Andrews and Lyttelton located on Port Hill composed of Miocene Volcanic rock, Riccarton and Western CBD located on natural levee zone, Woolston located on delta, New Brighton located on sand bar and Redcliffs located on valley bottom plain were chosen for investigation into their damage. Degree of damaged buildings was classified into Red, Yellow and Green colours according to identification by the investigators of city council. Materials of buildings were classified into brick, wood and concrete. The Degree of damage was measured as (numbers of red and 0.5 numbers of yellow) ÷ total numbers of buildings (Miyamura 1946).
- 2) Brick buildings were the most severely damaged and wood and concrete buildings were same degree.
- 3) St Andrews and Lyttelton were suffered the heaviest damage, because strong and short seismic dislocation and motion attacked from the epicenter directly. The Degrees of damage of Riccarton, Western CBD, Woolston and New Brighton were about half of the former, because seismic motion should be equalized by severe liquefaction of alluvial deposits. Redcliffs was suffered slightly, because seismic motion might be absorbed by thick and soft ground.

Keyword : 2011 Christchurch Earthquake, architectural damage, geomorphological environment, New Zealand

I. 研究目的

2010年9月4日ニュージーランド南島、カンタベリー平原北部に震央をもつ $M=7.1$ の Darfield 地震が発生した。この9月地震によりクライストチャーチは建物やインフラに大きな被害をうけた⁽¹⁾。その約5ヶ月後の2011年2月22日(火) 12時51分、クライストチャーチの南方約10kmを震央とする $M=6.3$ の Christchurch 地震が発生した。この2月地震は震央がクライストチャーチ市街地の至近にあって震源が浅いこと、発生時刻が昼食時間帯であったことから、市内をはじめ広範囲に人身犠牲者や建物倒壊など深刻な被害が発生した⁽²⁾。とくに、語学学校の入った CTV ビルは完全倒壊し日本人28名が死亡した。また、液状化による道路や上下水道、住宅などの破損が至るところで発生、市民生活は大混乱した。しかし、日本での報道が CTV ビルの犠牲者に集中し、本地震の全体像は理解できない状況であった。筆者は9月地震の特徴と被害に関心をもち、速報をまとめていた⁽³⁾。2月地震の発生に強い衝撃を受け、インターネットなどから被害が広域的でかつ深刻であることを確認した。そこで被害の実態と復旧、復興過程を明らかにするために現地協力者の援助を受けながら調査をおこなった（2011年3月17～22日および同年8月17～20日）。その結果は植村⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾において報告している。本稿では2月地震によるクライストチャーチの建物被害の地域的特徴を明らかにし、その発生要因として建物素材および地形環境との関係を考察したい。

II. 2月クライストチャーチ地震の概要

1. 地震の特徴

9月のDarfield地震発生直後からクライストチャーチ付近で余震活動が活発化した。12月26日には $M=5.3$ の Boxing Day 地震が発生、不安が広がりつつあった。2月22日、Port Hill の南麓 ($43^{\circ}60'S$, $172^{\circ}71'E$ 、地下約5km) に震源をもつ $M=6.3$ の Christ church 地震（地震エネルギーで兵庫県南部地震の約10分の1）が発生した。震央は Woolston ウールストンの南約3km、Lyttelton リトルトンの北4.5km、クライストチャーチの南東約10kmにある（図1）。発震メカニズムは東西圧縮による右ずれと逆断層の混合型。南へ約65度傾斜した8km×8kmの断層面上で最大すべりは1.5mに達した。地震断層は出現していないが、上盤のPortHillは約0.4m隆起、エスチュアリ河口は西へ、その北では東へ各々数10cmの移動が推定されている⁽⁷⁾。Riccarton リッカートン地区での聞き取りによると、地震動は強い上下動につづいて横揺れが約20秒以上継続したという。建物の外壁被害や室内の散乱の状況から本地震では南北方向の水平動が卓越し、初動は北への押しであったと判断できる⁽⁴⁾。一方、9月地震ではガンと強い衝撃が短期間襲ったといわれ、被害写真の判読から南北性の震動が強かったと推定される^(1・8)。本震直後の13時07分に $M=5.6$ 、14時50分に $M=5.5$ の余震が発生、さら

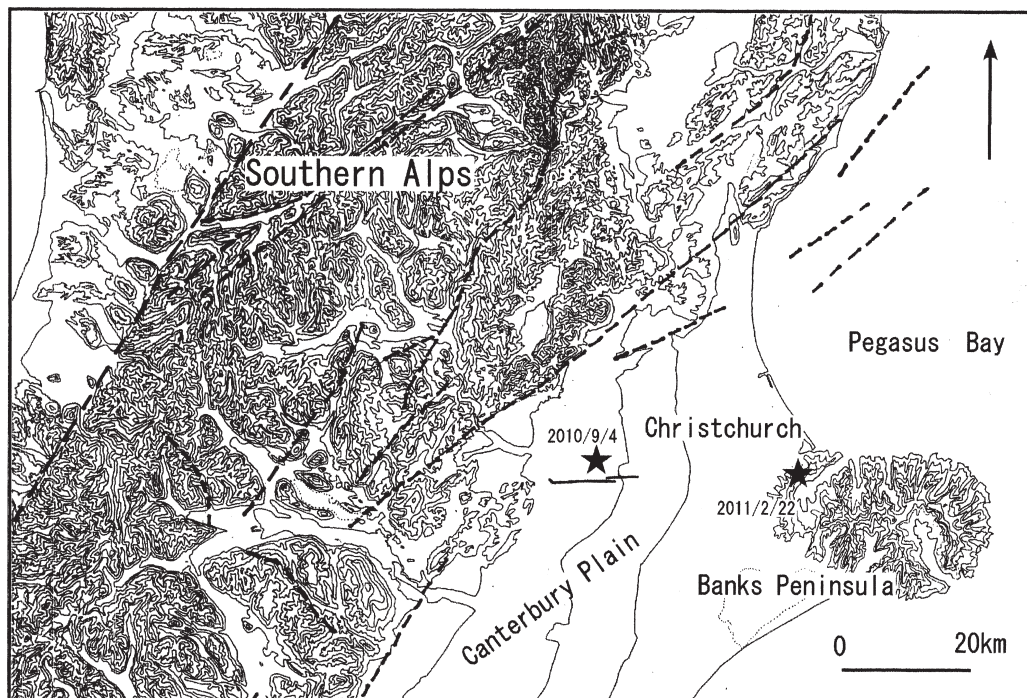


図1 カンタベリー平原北部の地形と活断層 等高線は300m間隔

Fig 1. Landform and distribution of active fault of the northern Canterbury Plain

に6月13日にはM=5.5および6.0のNew Brighton地震が発生、カトリックドームが倒壊するなど建物被害が拡大、再び液状化による深刻な被害が生じた。

2. 2010年9月地震との関係

9月地震は2月地震の震央から西へ約40kmのDarfieldで発生した。メカニズムは東西圧縮による逆断層を伴う右ずれ型、2月地震のそれと同じである。延長約29.5kmにわたって東西走向のGreendale地表地震断層が出現した。右ずれが卓越し最大5m、約1.5mの南側隆起を伴っていた⁽⁹⁾。2月地震の震央はGreendale地震断層の東延長より南に5km以上ずれており、別系統の断層による活動と考えられる⁽¹⁰⁾。カンタベリー地域は東西の水平圧縮場にあり、アルパイン断層系と同じく右ずれ成分の卓越する逆断層が分布する⁽¹¹⁾。しかし、9月の地震の原因となったGreendale断層は過去1.6万年間で初めて活動したもので、地表には過去の活動を示す兆候は認められなかった。2月地震は1万年以上にわたり応力を蓄積した活断層が9月以来の地震活動により誘発された最大余震と考えられる。また、地震後の探査によりクライストチャーチ低地下に多数の伏在断層が見いだされ、今後も余震発生が懸念される状況にある⁽¹⁰⁾。

III. クライストチャーチ市の歴史と地形環境

1. 歴史

クライストチャーチ市は2011年現在約36万人の人口を有する第3の大都市で、南島最大の行政、商業、サービスなどの中枢機能を有する。本市域は Waimakariri ワイマカリリ川右岸の沖積低地に発達する。この低地は南縁を Port Hill、東縁は太平洋に限られている。白人の入植前はフラックスなどが茂る湿地と乾いた草地とがモザイク状に分布し、マオリ集落もあった。1843年以降白人による牧場などが開かれていったが、1850年カンタベリー協会による組織的入植後に本格的開発が始まった。当初の予定地 Lyttelton が狭小であったため、現在のエイボン川低地へ変更された。Captain Thomas らにより河畔の微高地を中心に1辺約1.2kmの格子状のタウンシップが設定され、以後イギリスからの移民により彼らの文化と価値観を反映した英国風の都市作りがおこなわれていった⁽¹²⁾。このため、ガーデンシティとして名高く、観光と教育は主要産業となっている。

2. 地形環境

本地域はサザンアルプスからの融水水や河水により運搬された砂礫により形成された扇状地性のカンタベリー平原北東部に位置する。図2は空中写真および土壌図⁽¹³⁾、地質図⁽¹⁴⁾、地形

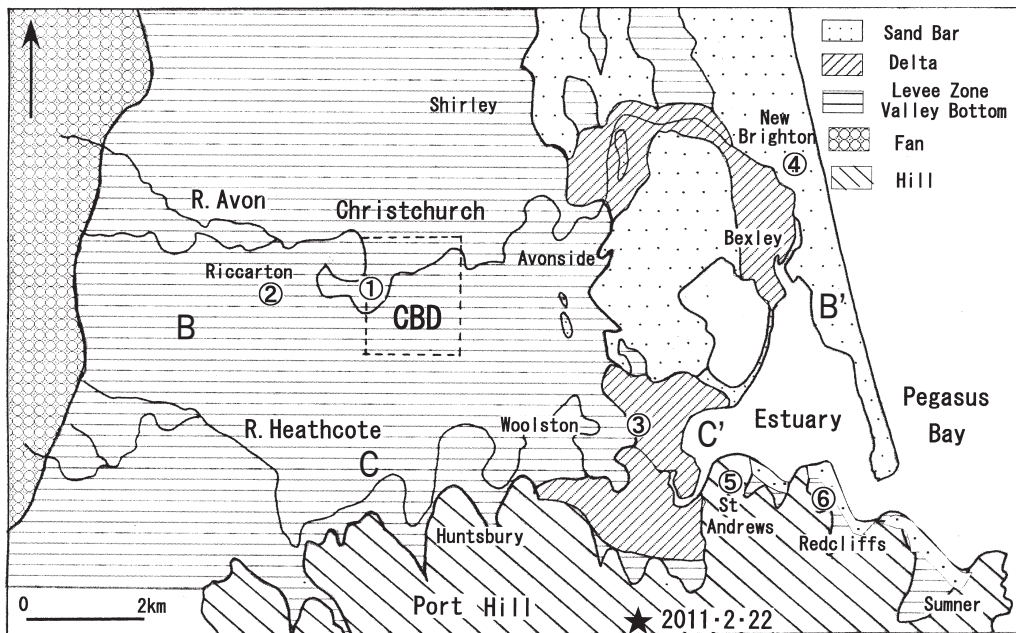


図2 クライストチャーチの地形分類図（B-B'、C-C'は図3の地質断面線）

Fig 2. Geomorphological map of Christchurch area

調査地点 ① Western CBD, ② Riccarton, ③ Woolston, ④ New Brighton,
⑤ St Andrews, ⑥ Redcliffs, ⑦ Lyttelton (図外)

図の判読により作成した地形分類図である。地形は西から東へ扇状地、自然堤防帯、三角州、砂州帯の順に配列している。

- 1) 扇状地 Waimakariri 川の形成した広大な最終氷期以降の扇状地からなる。これは上流で段丘化し、下流で低地面と交差して地下へ埋没しており、西高東低の傾動運動を示す。扇状地の末端は高度20m付近にあり、扇端付近の湧水を集めて Avon 川や Heathcote 川が東へ流下していく。
- 2) 自然堤防帯 扇端から砂州帯までの約10kmの幅で発達し、高度は約20mから東で3m付近まで低下する。クライストチャーチ市街地の大部分がこの地形に位置する。一般に後背湿地が卓越し、表層には砂質堆積物が卓越する。旧河道部には泥炭や粘土が堆積している。高度6~7m以下では河川と低地面との高度差がなくなる。両河川とも砂州帯の影響で閉塞傾向が強く、下流部の延長4kmの間に顕著な蛇行帯を形成している。
- 3) 三角州 最下流には低平な三角州が発達し、エスチュアリに流入していく。砂州による排水不良のため低湿で、表層は細粒砂~シルトからなる。エスチュアリは水深数m以下のラグーンで、干潮時には干潟として現れる。
- 4) 砂州 太平洋岸に接して幅5~6kmの砂州帯が発達する。現生砂州は幅1~1.5kmで、北北西方向の直線状海岸線を形成している。この上に NewBrighton が立地する。内陸側には比高数mの2列の旧砂州が分布し、主に粗~細粒の海浜砂層から構成されている。
- 5) 丘陵 低地の南縁には高度300~500m程度の PortHill の丘陵が発達する。中新世の火山岩類から構成されており、急斜面が広く分布する。地震動により地すべりや斜面崩壊、落石

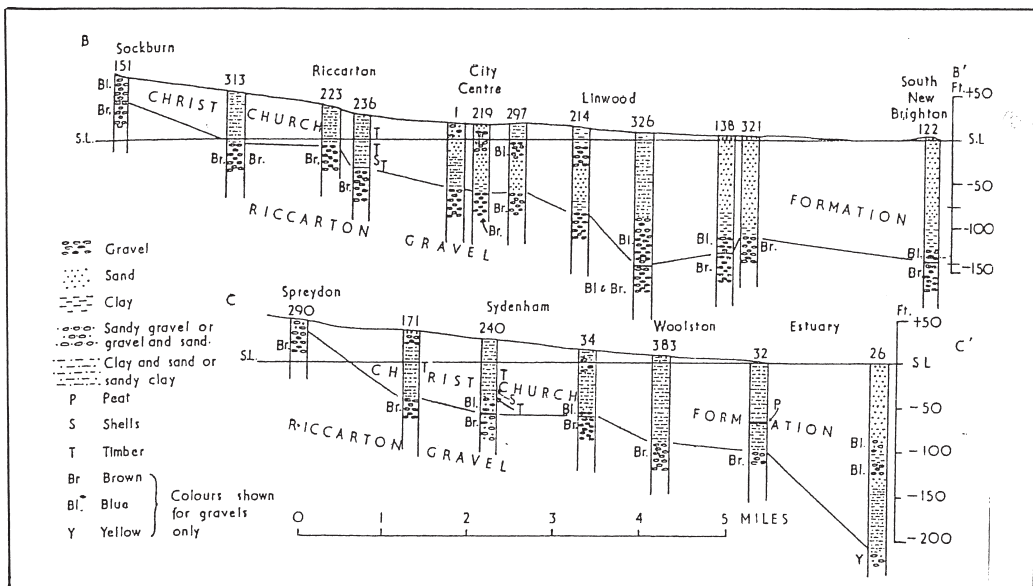


図3 クライストチャーチ低地の東西地質断面、断面位置は図2に示す (Suggate 1958)

Fig 3. Geological section of Christchurch lowland (Suggate 1958)

による被害が多発した。

図3に Suggate による本低地の東西地質断面を示す⁽¹⁵⁾。これによると、沖積層は中部泥層の発達が貧弱で砂層や礫混じり砂層が卓越する。沖積層の厚さは海岸付近で約40m、大聖堂地下で約28m。沖積基底礫層上面は東から西へ平均約0.2%の勾配で浅くなっていく。また、Brown and Weeber は詳細な表層地質図を編集している⁽¹⁴⁾。

IV. 地震被害の概要

1. 人的被害

3月8日警察の発表によれば死者・不明者181名、このうち外国籍は80名をしめ、日本人28名、中国人23名、フィリピン人11名などアジア系が95%を占めた。死者・不明者は全壊したCTVビルで約100名、Pyne Gould ビルで約60名といわれ、両ビルの倒壊による犠牲者が約9割と圧倒的に多い。これらは1976年の新耐震基準以前の建築物で、パンケーキクラッシュと称される全階が完全崩壊しており原形を留めていない。CTVビルには日本人生徒の多い Kings Education の教室が入っており、12時30分に授業が終わり2階のカフェテリアでは60名ほどが食事をしていたという。ガスによる引火もあって身元確認がきわめて困難なほど遺体の損傷が大きかったと推定される。他に、瓦礫落下のため市バス内での死亡、リッカートン通のレンガ住宅壁崩壊で3名の死亡などが知られている。

2. 建物被害

クライストチャーチ市では1万戸以上の建物を取りこわしを要する大きな被害を受けた。CBD地区における2,940件の建物調査の結果は、赤色（危険）755件、黄色（要注意）909件、緑色（安全）1,276件の判定で、安全とされたものは43%にすぎず、26%が危険と判定された。地震3日後の2月24日以降、CBD中心部の1辺約2km四方内への人と車の進入を禁止する封鎖処置（cordon）がとられた⁽¹⁶⁾。これは居住者や営業者をも対象とした徹底したもので、道路はフェンスで遮断され、軍が出入りを厳しくチェックしている。その後範囲は徐々に狭められ、3月10日時点で当初の約半分程度までになった。2012年8月現在でも封鎖は継続されている。市のシンボルである大聖堂の尖塔上半分が倒壊、聖堂も大きく破損した。6月地震により被害がさらに拡大、取りこわしと決定した。また、カトリック教会、カンタベリークラブなどレンガ造りの歴史的建造物は大破して取りこわされるものが多い。観光資源として貴重な建築物が潰滅的状況にある。CBD地区においては多数の商業用ビルが被災している。図4は大聖堂を中心とするCBD地区の9月地震（B）および2月地震（A）により赤判定を受けた建物の密度分布である⁽¹⁷⁾。BにおいてはManchester通に沿って南北に被害が帯状に発生、北はGloicester通付近で終わっている。一方、Aでは被害がEvon川左岸の全域に拡大し、とくに

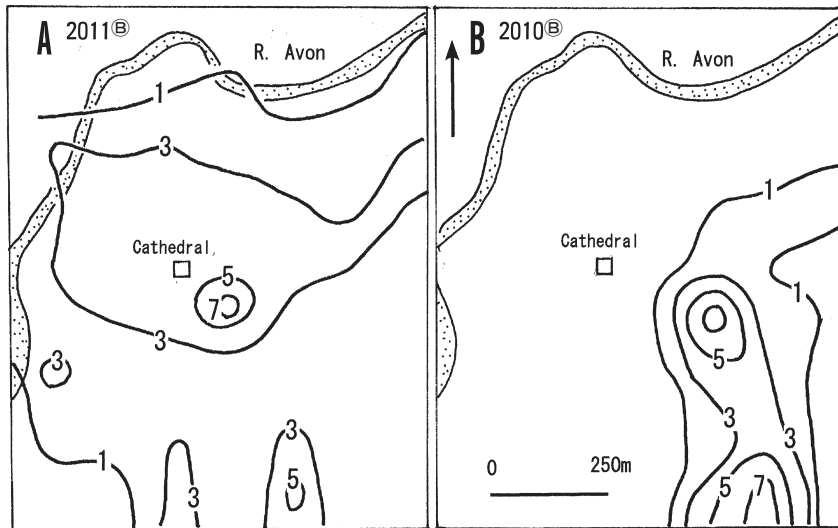


図4 大聖堂を中心とする CBD 地区の危険 (Red) 建物の密度分布、
A: 2011年2月地震、B: 2010年9月地震

Fig 4. Isopach maps of red marked buildings in the CBD surrounding the Cathedral
A: February 2011 earthquake B: September 2010 earthquake

大聖堂をとりまくように被害密度の高い地区が生じている。また Manchester 通と Colombo 通の南部にも被害の大きい部分がみられる。両図において、河岸地区に被害が大きい傾向は認められない。

3. 液状化

インフラに最も深刻な影響を与えたのは液状化であり、市内全域で発生した。道路や橋梁、電気や上下水道が寸断され、日常生活が大混乱した。とくに、Evon 川の河岸地や旧流路、三角州では9月・2月・6月の3回にわたって液状化が発生、泥水による家屋や道路の浸水、地盤沈下による建物倒壊や破損、インフラの破壊などが繰り返された (写真1)。このため、政府は Evon 川下流の河岸地域を住宅不適地に指定して復旧を断念、住宅を放棄して他地域へ移転さ



写真1 三角州上の Bexley における液状化、噴砂 (厚さ40cm) と住宅の浸水 (約50cm) (2011年3月21日)

Photo 1. Liquefaction and inundated house of Bexley

せるゾーニングを決定した⁽¹⁸⁾。

V. 建物被害の調査結果

1. 調査方法

建物被害の実態と建物素材および地形環境の影響を明らかにするため、以下の7地点を調査地として選んだ(図2)。1) 自然堤防帯-①CBDと②Riccarton リッカートン、2) 三角州-③Woolston ウールストン、3) 砂州-④NewBrighton ニューブライトン、4) 丘陵北斜面-⑤St Andrews セントアンドリュース、5) 丘陵谷底低地-⑥Redcliff レッドクリフ 6) 丘陵南斜面-⑦Lyttelton リトルトン。

調査では建物の被害状況、建物と屋根の素材と構造などを観察した。当時、市検査員による赤・黄・緑に3分類した被害判定カードが表示されている場合が多かった。この基準は、赤：危険判定で建物内立入り禁止、黄：破損判定で立入・利用制限、余震などでさらに被害を受け

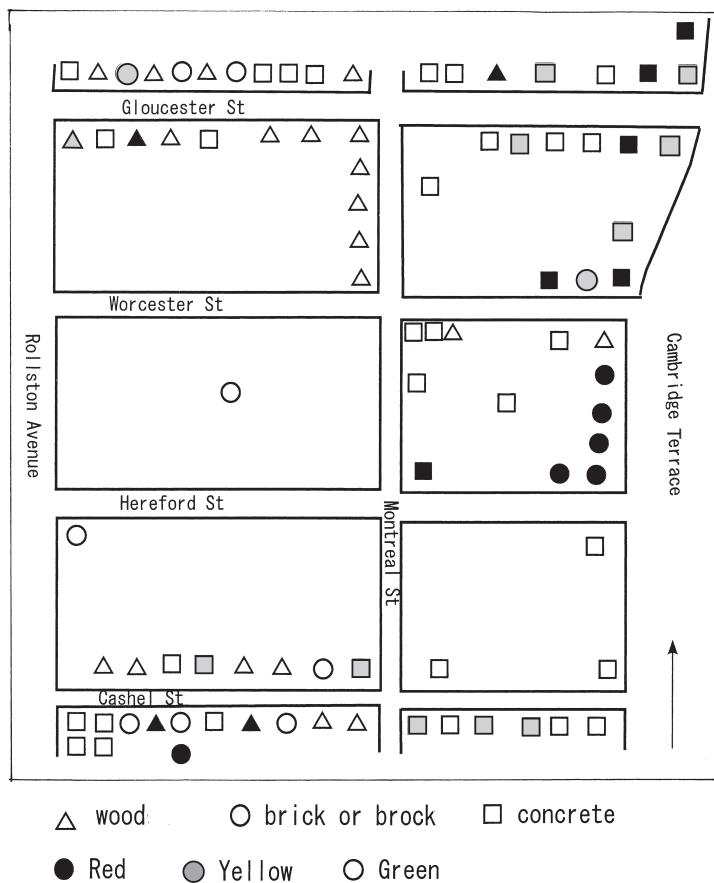


図5 CBD西地区の建物被害

Fig 5. Map showing distribution of architectural damage of the western CBD

る危険があり再検査要、緑：安全判定で構造などに破損がみられない、である。この3分類を被害程度の分類基準として採用した。ただし、丘陵部では未検査やカードを確認できなかった例もあり、外観から独自に判断した。建物の素材は木造、レンガまたはブロック、コンクリートの3種類に分類した。木やレンガを使用し外壁をモルタルで塗り固めたものや木造で外壁をレンガやブロックで張り付けたものもあり外観だけでは判別が困難な例も少数あった。

2. 調査結果

1) CBD 西地区 3月の調査時点でCBDの大部分は閉鎖されていた。このため、調査可能なHagley公園とEvon川とに挟まれたCBD西地区を選んだ。すなわち、Gloicester 通、Cashel 通、Rolleston Avenue、Cambridge Terraceによって囲まれた部分で、一部は閉鎖されていた。市役所や警察署などの公的機関、アートギャラリーやアートセンター、博物館、オフィスビルやマンション、古い木造住宅などが混在する地区である。図5に調査結果を示す。調査数87件のうちコンクリートが54%と最多を占め、木造も29%ある。17%を占めるレンガは歴史的建築物が多い(写真2)。被災率は35%と高く、コンクリートも34%が被災し赤も6件ある。木造は20%が被災し、赤指定は4件。レンガでは60%が被災、赤が約8割を占める大被害を受けた。

2) Riccarton 地区 Hagley Parkの西側にある商業地区で、大型ショッピングセンターがある。Deans AvenueとClarence通間のRiccarton Road両側の商業建物を調査した(モーターは除外)。36件中コンクリートが27件と8割を占めている。被害はコンクリートに赤が1件、黄が2件、レンガの7件中赤2件、黄3件、木造では黄1件のみ。被災数は9件で被災率は25%であるが、レンガの被災は71%に達する。



写真2 自然堤防帯のCBD西地区、Cambridge Terraceの被害状況(2011年3月20日)
Photo 2. Damage of buildings located along Cambridge Terrace, western CBD situated on natural levee zone

- 3) Woolston 地区 Ferry Road に面する商業地区で、商店、郵便局、図書館、教会などが並ぶ。調査結果を図6に示す。45件の建物中被災した10件はすべてレンガ建物で、赤9件、黄1件であった。木造やコンクリートに被害はない。被災率は22%だが、レンガでは45%と約2倍の被害を受けている。古いレンガ建築が選択的に被災したことを示す(写真3)。
- 4) New Brighton 地区 クライストチャーチの東約8kmの砂州に位置し、日帰りの海浜リゾート地として発展した。Ocean View 通をはさむ両側の商業建物を調査した(写真4)すべてコンクリート1階建からなる。調査53件はすべて商業用で、被害は赤6件、黄9件、残り38件には被害がなかった。被災率は28%、赤が11%を占める。
- 5) St Andrews 地区 市南部の Port Hill 北斜面に過去50年間に開発された高級住宅地の1つ。高度50~150m付近の丘陵尾根上の St Andrews 地区北部を調査対象とした。図7は住宅地の被害状況である。木造26件、レンガ28件、コンクリート20件の74件のうち被災率は64%に達した(写真5)。赤は30件で41%と高率だ。黄も17件あり、無被害は27件の36%にすぎない。レンガでは赤が75%を占める深刻な被災状況を示し、コンクリートの5件が赤であった。
- 6) Redcliffs 地区 St Andrews 地区の東1.5kmの谷底低地に開かれた中流住宅地区である。Main Road に面する若干の商業用建物と教会、加工場1件を除くとすべてが住宅で、過去30年間の建築が多いと推定される。81件中木造は32件で黄4件、レンガ37件で赤1件と黄

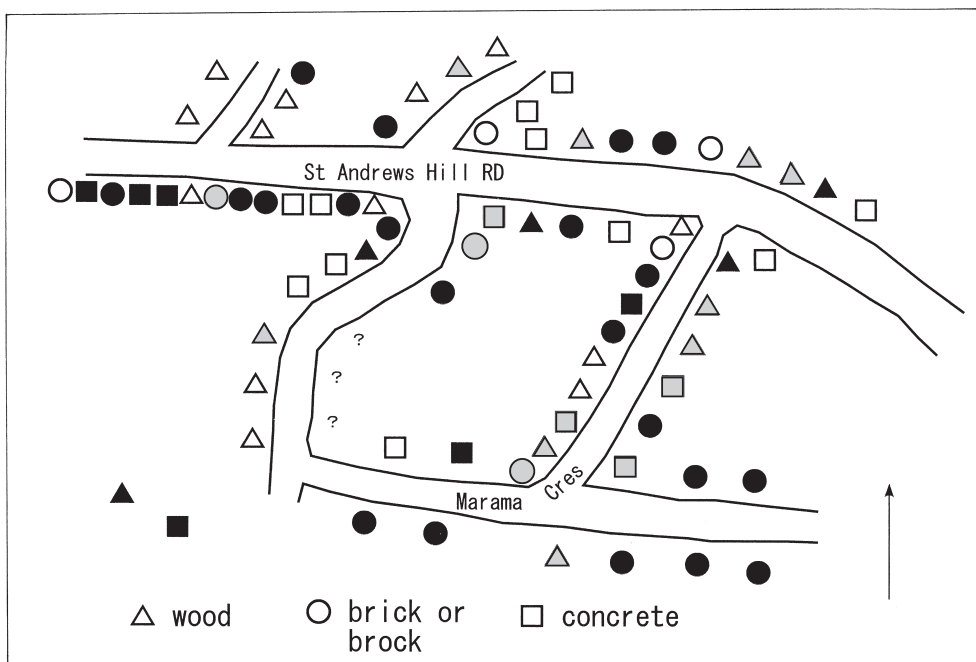


図7 丘陵北斜面の St Andrews における建物被害
Fig 7. Map showing distribution of architectural damage of St Andrews



写真 5 丘陵北斜面 St Andrews における被害住宅（2011年 3 月22日）
Photo 5. Damaged house of St Andrews situated on hill

3 件、コンクリート12件には被害がなかった（図 8）。ここでは 8 件のみが被災し10%に過ぎない。黄は木造とレンガあわせて 7 件は煙突破損 3 件とスレート瓦の破損 3 件で軽微であった。

7) Lyttelton は Port Hill の南麓に位置するクライストチャーチの外港で、大聖堂から約11 km南東に位置する。急傾斜の南向き山地斜面がせまり、市街地は基盤岩と崖錐の上に位置す

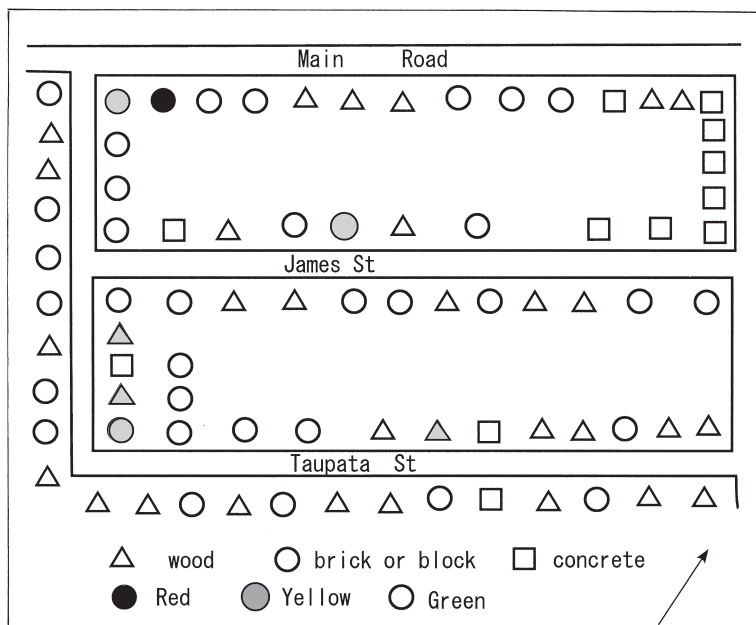


図 8 谷底低地の Redcliff における建物被害
Fig 8. Map showing distribution of architectural damage of Redcliffs

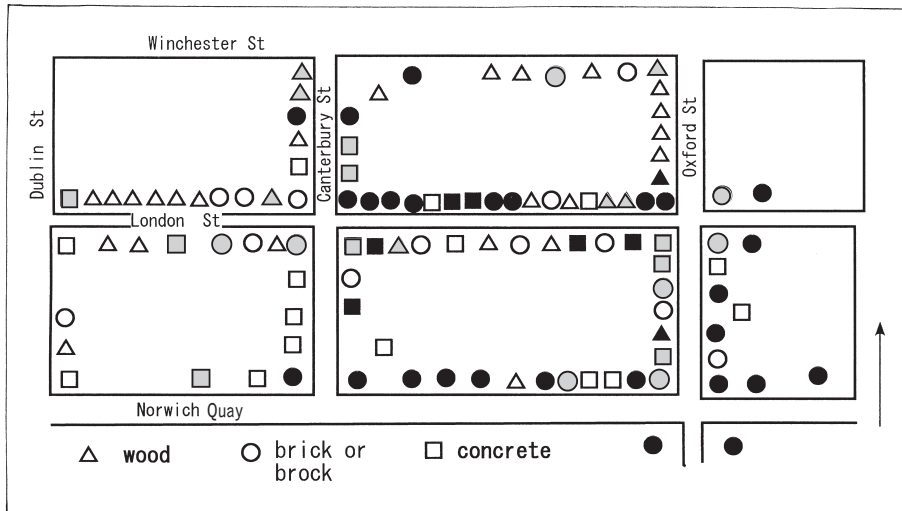


図9 Lyttelton 中心部における建物被害

Fig 9. Map showing distribution of architectural damage of central Lyttelton

る坂の町である。2000年にクライストチャーチ市に併合された。街路は海岸線に並行な Norwich Quay と London St が中心通で、碁盤目状の街路を形成している。図9に111件の調査結果を示す。レンガが43%と最も多く、ついで木造30%、コンクリート27%の順であった（写真6）。被災率は60%と高く、赤が42件と全体の38%を占める。レンガは81%が被災し、赤が65%を占めて突出している（写真7）。コンクリートの被災も50%、赤が4割を占める高率を示す。木造も39%が被災、赤が38%と高い。



写真6 丘陵南斜面の Lyttelton, Norwich Quay の商業用建築の被害 (2011年3月19日)

Photo 6. Damage of commercial buildings located along Norwich Quay, Lyttelton situated on hill



写真 7 Lyttelton, Holy Trinity 教会の被害 (2011年 3 月19日)
Photo 7. Damage of Holy Trinity Church, Lyttelton

VI. 議論

1. 建物被害の特徴

2011年 2 月地震 (M=6.3) によるクライストチャーチ周辺の建物被害と発生要因を明らかにするため、約 1 ヶ月後の 3 月中旬に現地調査をおこなった。被害実態の把握、発生要因として建物素材および地形環境との関係を明らかにするために 5 地形区の 7 地点、総計485件の建物を調査した。被害程度は市の判定による赤・黄・緑の三分類に従った。日本の被害分析例では全壊数を重視する傾向が強い。しかし、住宅の構造や被害判定基準の異なるニュージーランドの事例であり、平均的な被害程度を議論するのが適当と考える。このため、宮村 (1946) による被害指数を適用し、 $(\text{赤} + \text{黄} \times 0.5) \div \text{調査数} \times 100$ により求めた。調査結果を地点ごとに図 10の建物素材別被害状況に示した。485件のうち187が被災しており、被災率は39%である。このうち、赤が22%、黄が16%を占め、被害指数は30を示す。クライストチャーチ市域で MM 震度IX～Xに達したことは確実である。素材別にみるとレンガの被害指数は50、赤が44%を占め高率である。一方、木造の被害指数は20、赤は11%、コンクリートでは被害指数21、赤の比は12%である。レンガ建築は他二者と比べて被害指数で約2.5倍、赤の割合では約 4 倍に達するなど、極めて深刻な被害を受けたことが明瞭である。

2. 地区ごとの特徴

まず、PortHill 北斜面の St Andrews と南斜面の Lyttelton を取りあげる。前者の被害指数は52、赤の比率は41%。後者では49と38%であった。素材別でも酷似した値を示す。すなわち、両者の被害は同程度で、調査 7 地点中もっとも深刻な被災状況を示す。前者は新興住宅地区であり、後者は港湾をひかえた古くからの商業・サービス地区と歴史や機能を異にする。それに関わらず両者が同様の大きな被害を受けた理由として、震央に近く、震源断層上盤での急激

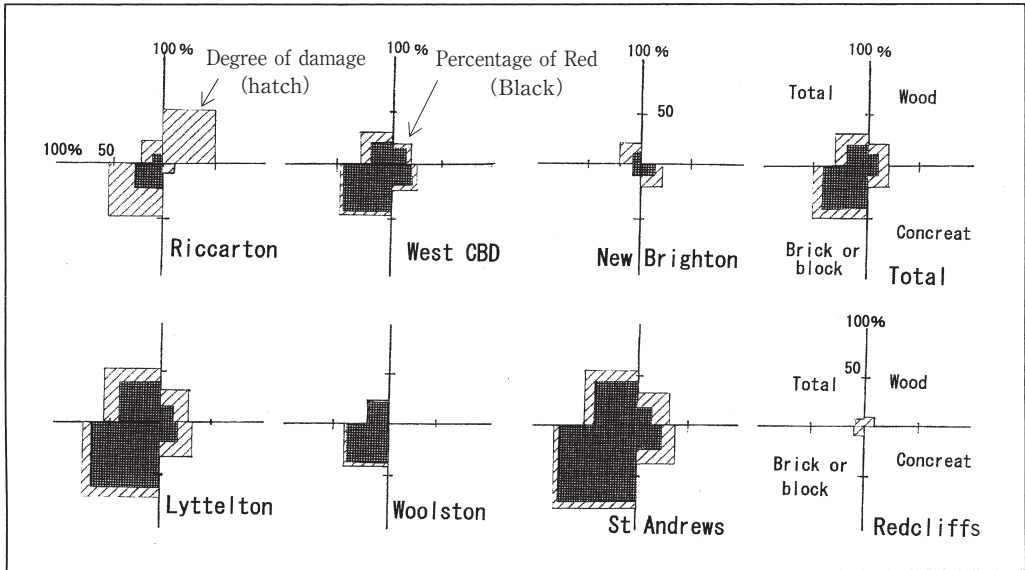


図10 調査地区における素材別建物被害

Fig 10. Diagram of architectural damage of surveyed location and building materials

なずれと固い岩盤を通じて短周期の強い揺れが襲ったことが推定される。ここではMM 震度XIに達したことは確実である。次に、PortHill北側の沖積低地に位置するWoolstonとRedcliffsを取りあげる。前者は古くからの商業地区でHeatHcote川の三角州、後者は丘陵の谷底低地の住宅地区と性質を異にするが、震央からの距離は3～4kmとほぼ同じとみてよい。Woolstonの被害指数は21、赤の比は20%であり、Redcliffsでは6および1%とはるかに低い。前者ではレンガの被害指数は43と平均の2倍以上であり、後者ではレンガのみに赤が3件生じた。ここでも、レンガ建築が大きく被災している。また、Redcliffsの被害状況は7地点中最も軽微であった。同じ谷底低地に位置する西方のHuntsbury地区Bowenvale Avenue住宅地でも、煙突の破損やスレート瓦のずれが少数みられる程度で被災は極めて軽微であった。PortHill斜面上の住宅地区が深刻な被害を受けたのと対照的である。RedcliffsなどPortHill北側の谷底低地は砂や粘土など軟弱な地質から構成されている⁽¹⁴⁾。この地区の被害が極めて軽微だった理由として、短周期の強い揺れが軟弱層によって減衰したことや液状化の発生により震動が吸収されたことが推定される。これについては、地下地質や地震動の性質についてさらに詳しい検討が必要である。

つぎに、Avon川自然堤防帯のRiccartonとCBD西地区を取り上げる。商業地区の前者では被害指数が19、赤は9%、コンクリート製の被害指数は10、赤比は4%である。一方、多種の建築物が混在するCBD西地区では被害指数27、赤比は20%を示す。とくに、コンクリート製47件中赤6、黄10で、被害指数23、赤の比率20%とLytteltonのそれと同程度の大きな被害を受けている。旧式コンクリートのみならず過去30年以内の新しい高層ビルも被災しており、

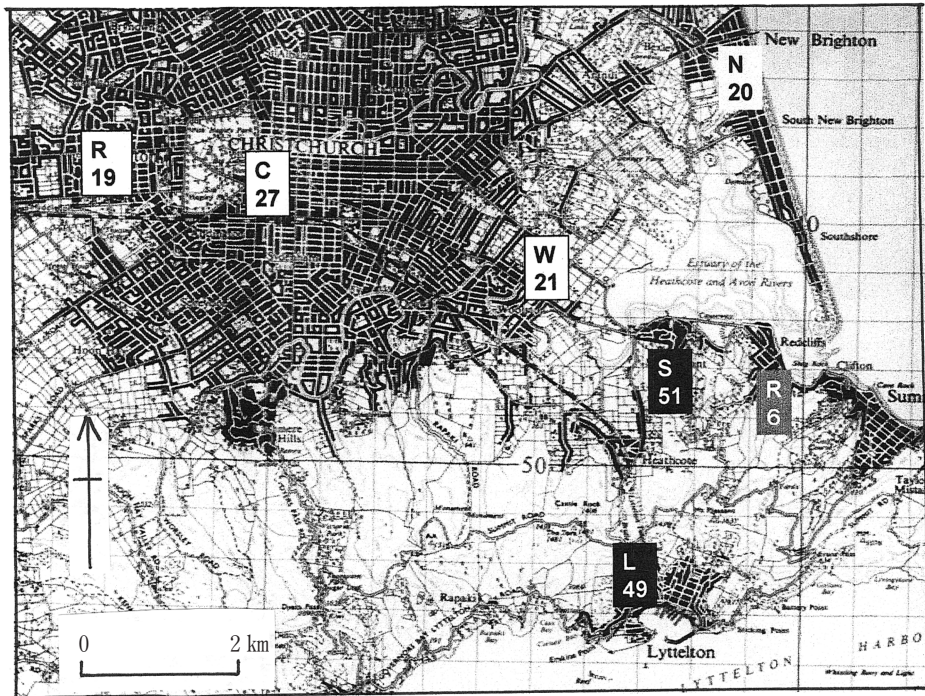


図11 調査地区における被害指数の分布

Fig 11. Map showing distribution of the degree of damage

建築年代に支配されているとはいえない。CBD 地区のビルは 9 月地震と 2 月地震により 2 回も性質の異なる地震動を受けている。両地震とも南北性の揺れが卓越し、9 月では短時間の強い衝撃、2 月地震では強い上下動とやや周期の長い水平動が襲った。2 回の震動による構造破損の累積がコンクリート建築に大きな被害を生じた原因であろう。最後に砂州上の New Brighton では被害指数 20、赤の比率 11%である。これは Riccarton のそれと同じである。両者ともコンクリート商業施設が多い点で共通するが、地下地質は前者が地表下約 5 m は粘土層、その下位に厚さ 22m の砂層が堆積しているのに対して、後者では地表下約 15m まで砂と粘土の互層からなる。地形や表層地質は異なるにもかかわらず被害程度が同じである点が注目される。

3. 建物被害の発生要因と地形環境

以上の検討により被害指数の分布を図11に示す。2 月地震で最も激甚な建物被害を生じたのは中新世火山岩類から構成される Port Hill 上の St Andrews と Lyttelton で、被害指数は約 50 に達した。震源断層直上の上盤では短周期の強い震動が発生したことを示す。一方、沖積平野における自然堤防帯や三角州、砂州に位置する Riccarton、CBD 西地区、Woolston、New Brighton では被害指数は約 20 前後にそろい同程度の震動であったと判断される。ここでは地形や表層地質、震源からの距離の影響は大きくなかった。その理由として液状化によって地震

動が減衰し、かつ平均化された可能性が高い。CBD 西地区のやや大きな被害指数は多様な建築物の存在を反映していると推定される。丘陵谷底低地の Redcliffs で被害が最も軽微だった理由は軟弱層による減衰と推定されるが、さらに検討する必要がある。

VII. 結論

1. 2011年2月22日クライストチャーチ地震による建物被害を調査し、発生要因として建物素材および地形環境の影響を検討した。調査地区として自然堤防帯、三角州、砂州、丘陵、谷底低地の5地形区から7地点を設定、市調査員による被災判定(赤・黄・緑)を採用し建物素材ごとの被災状況を調査した。素材は木造・レンガ・コンクリートに3分類し、それぞれの被災率および被害指数 = $\{(\text{赤} + \text{黄} \times 0.5) \div \text{調査数} \times 100\}$ を求めた。
2. 建物素材について、全地点でレンガが最も被害程度大きく、コンクリートおよび木造はほぼ同程度という結果をえた。
3. 最も激甚な被害は PortHill 上の StAndrews と Lyttelton であり、Riccarton、CBD 西地区、Woolston、New Brighton の4地区では前者の約半分程度の被害であり、Redcliffs は最も軽微であることが明らかになった。
4. 丘陵では震源断層の上盤に位置し、短周期の強い地震動が襲った。自然堤防帯、三角州、砂州ではほぼ同程度の地震動が発生した。この原因は沖積層の液化化により地震動が平均化されたためと推定される。谷底低地での最も軽微な被害は砂や粘土の軟弱層による減衰と液化化により震動が弱められた可能性がある。

謝辞

現地調査にあたり Canterbury 大学の高岡忠雄教授ご家族、Lincoln 大学 Ward および Challenger 両教授、Rome 氏および Dennis 氏のご協力をえました。とくに、元 Victoria 大学上級講師狩野不二夫氏には現地情報と協力者を親切に紹介いただきました。以上の皆さんに心より感謝します。

本論文を地震より9カ月後の2011年11月30日 Wellington 市にて急逝された狩野不二夫先生に捧げます。

〔注〕

- (1) 本地震に関して Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering 44巻4号(2011年), p181~430が特集号として発行されている。
- (2) 本地震に関して Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering 43巻4号(2010年), p215~438が特集号として発行されている。
- (3) 植村善博(2010) 2010年9月4日カンタベリー地震速報—クライストチャーチ市の被害と発生要因を中心に—、ニュージーランド研究、17、73~81。

- (4) 植村善博（2011）ニュージーランド・クライストチャーチ地震による被害の実態、地理、56—8、17～27.
- (5) 植村善博（2012）2011年2月クライストチャーチの地震と復興計画、地理、57—1、97～103.
- (6) 植村善博（2012）震災復興と二一世紀型都市への挑戦—クライストチャーチ地震—、外交、12、62～66.
- (7) <http://www.gns.cri.nz>
- (8) Wethey, D. & Stuart, I.(2010) Quake- The Canterbury Earthquake of 2010, Harper Collins.
- (9) Quigley, M. et al. (2010) Surface rupture of the Greendale fault during the Darfield (Canterbury) Earthquake, New Zealand: Initial findings. Bull, NZ, Soc, Earthquake Engineering 43, 236～242.
- (10) The Press Christchurch, July 11, 2011における Berryman, K. 氏の報告
- (11) Dorwick, D. J. et al. (1998) Earthquake hazard in Christchurch. Bull, NZ, Nat, Soc, Earthquake Engineering、31, 1～23.
- (12) Wilson, J. et. al (2005) Contextual historical overview for Christchurch City, 325p, Christchurch City Council.
- (13) Raeside, J. D. (1974) Soil map of Christchurch Region, New Zealand, Scale 1 : 63, 360. New Zealand Soil Survey Report 16.
- (14) Brown, L. J. & Weeber, J. H. (1992) Geology of the Christchurch Urban Area. IGNS, 104p.
- (15) Suggate, R. P. (1958) Late Quaternary deposits of the Christchurch metropolitan area, NZ, Jour, Geol & Geophys, 1, 103～122.
- (16) <http://canterburyearthquake.org.nz>
- (17) The Press (2010) The Big Quake: Canterbury, September 2010および The Press, Christchurch, March 19th, 2011, A8. により作図した
- (18) The Press, Christchurch, June 24th, 2011
- (19) 宮村撰三（1946）東海道地震の震害分布（その1）、地震研究所彙報, 24. 99～134.

追記：投稿後に千種キムラ・スティーブン（2012）クライストチャーチ大地震とニュージーランド政府および市民の対応、『「小さな大国」ニュージーランドの教えるもの』所収、論創社、74～108が公表された。本地震を直接体験したニュージーランド人の興味深い考察が多く参考になる。

（うえむら よしひろ 歴史文化学科）

2012年10月26日受理